



REGIONE SICILIA  
 PROVINCE DI SIRACUSA E CATANIA  
 COMUNI DI FRANCOFONTE E VIZZINI



PROGETTO DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DENOMINATO "FRANCOFONTE SAN BIAGIO" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI FRANCOFONTE (SR) NELLA CONTRADA "SAN BIAGIO" CON POTENZA PARI A 29.359,40 kWp (22.000,00 kW IN IMMISSIONE) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI VIZZINI (CT).

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica - Campi elettromagnetici e calcolo delle distanze di prima approssimazione



livello prog.	GOAL	tipo doc.	N° elaborato	N° foglio	Tot. fogli	NOME FILE	DATA	SCALA
PD						FRSBREL0005		

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO



PROPONENTE:  
 HF SOLAR 6 S.R.L.

ENTE:

PROGETTAZIONE:



Ing. D. Siracusa  
 Ing. A. Costantino  
 Ing. C. Chiaruzzi  
 Arch. A. Calandrino  
 Arch. M. Gullo  
 Arch. S. Martorana  
 Arch. F. G. Mazzola  
 Arch. G. Vella  
 Ing. G. Buffa  
 Ing. M. C. Musca  
 Ing. G. Schillaci



IL PROGETTISTA

**Impianto di produzione di energia elettrica da fonte  
energetica rinnovabile attraverso tecnologia fotovoltaica  
denominato  
“San Biagio”**

**Relazione tecnica campi elettromagnetici  
e calcolo delle distanze di prima approssimazione**

**Progetto definitivo**

## **Sommario**

Premessa.....	1
1. Riferimenti Normativi .....	5
2. Descrizione generale dell'impianto .....	6
3. Valutazione previsionale dei campi elettromagnetici.....	15
3.1 Moduli Fotovoltaici.....	16
3.2 Cabine elettriche di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta .....	16
3.2.1 Procedura di calcolo adottata.....	17
3.2.2 Individuazione delle sorgenti di emissione e calcolo della DPA .....	19
3.2.3 Calcolo della fascia di rispetto secondo il DM 29/05/2008.....	22
3.3 Linee elettriche 36 kV interne al campo .....	25
3.4 Dorsale a 36 kV di collegamento con la Sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione denominata Troia .....	32
4. Conclusioni .....	34

## Premessa

Il progetto in esame prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico da ubicare nel territorio Comunale di Francofonte (SR) in località “Contrada San Biagio” su lotti di terreno distinti al N.T.C. Foglio 5, p.lle 592, 364,365 e 97 da connettere alla Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale.

Come riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, a cui si rimanda per maggiori dettagli, l’impianto ha una potenza di picco, intesa come somma delle potenze nominali dei moduli fotovoltaici scelti in fase di progettazione definitiva, pari a **29.359,40 kWp** e risulta suddiviso in due lotti contigui facilmente raggiungibili tramite strada di bonifica “Contrada Pelaita” SB26, in direzione Ovest-Est”:



Figura 1: inquadramento territoriale su ortofoto area di impianto con indicazione delle due sezioni di generazione

Lo schema di connessione alla Rete, prescritto dal Gestore della Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale con preventivo di connessione ricevuto in data 8/04/2022 ed identificato con Codice Pratica 201900958 Protocollo Terna P20220030651, prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica di Trasformazione 380/150/36 kV denominata "Vizzini" prevista nel Piano di Sviluppo Terna, da inserire in entra-esce sulla linea RTN 380 kV "Chiaramonte Gulfi-Paternò", mediante una dorsale a 36 kV in cavo interrato su tracciato di pertinenza stradale pubblica.

Ai sensi dell'art. 21 dell'allegato A alla deliberazione Arg/elt/99/08 e s.m.i. dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, il nuovo elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento della centrale alla stazione elettrica della RTN, costituisce **Impianto di Utenza per la Connessione**, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella suddetta stazione costituisce **Impianto di Rete per la Connessione**. La restante parte di impianto, a valle dell'impianto di utenza per la connessione, si configura, ai sensi della Norma CEI 0-16, come **Impianto di Utenza**.

Per una maggiore comprensione di quanto descritto, viene riportato lo schema tipico di inserimento in antenna di un impianto di produzione con la sezione a 36 kV di una futura Stazione Elettrica della RTN:

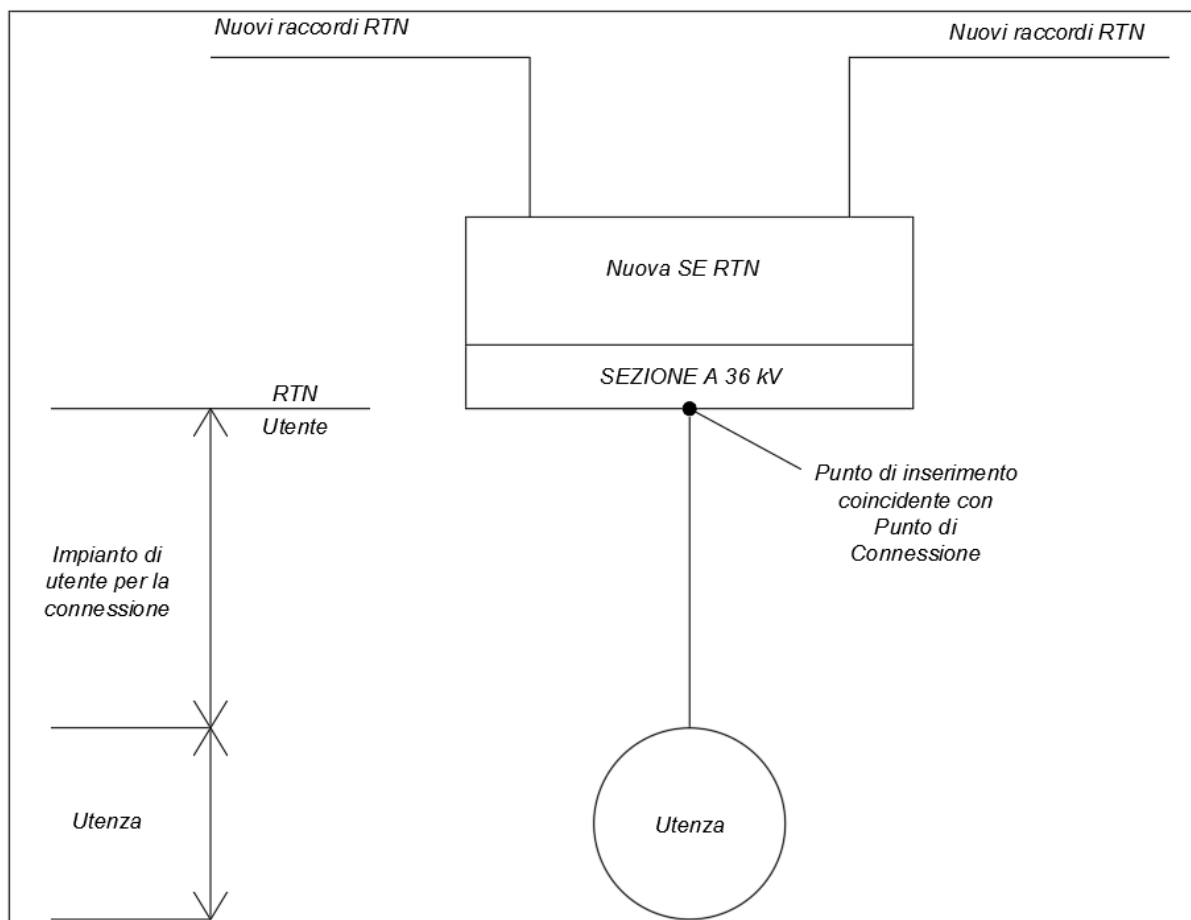


Figura 2: inserimento in antenna di un impianto di produzione con la sezione a 36 kV di una futura Stazione Elettrica di Trasformazione

La presente relazione, è stata redatta al fine di valutare i campi elettromagnetici generati durante l'esercizio dalle apparecchiature e infrastrutture costituenti l'impianto di Utenza, ai fini della valutazione dell'esposizione umana.

Considerando che il Sistema Elettrico Nazionale è elettrificato in corrente alternata a 50 Hz, i campi elettrici e magnetici generati durante l'esercizio rientrano nella banda ELF (30 – 300 Hz, bassa frequenza) e quindi regolati dal D.P.C.M. 8 luglio 2008 per la determinazione delle fasce di rispetto.

In particolare, ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete generati da linee e cabine elettriche, il D.P.C.M. sopra citato fissa, in conformità alla Legge 36/2001:

- i **limiti di esposizione** del campo elettrico (**5 kV/m**) e del campo magnetico (**100  $\mu$ T**) per la protezione da possibili effetti a breve termine;
- il **valore di attenzione** (**10  $\mu$ T**) e l'obiettivo di qualità (**3  $\mu$ T**) del campo magnetico, da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da

possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere.

*Il valore di attenzione* si riferisce ai luoghi tutelati esistenti nei pressi di elettrodotti esistenti, mentre l'obiettivo di qualità si riferisce alla progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati esistenti o alla progettazione di nuovi luoghi tutelati nei pressi di elettrodotti esistenti.

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003, in attuazione della Legge 36/01 (articolo 4 comma 1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'allegato al Decreto 29 maggio 2008. Detta fascia, comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

*Al fine di agevolare/semplificare l'iter autorizzativo relativo alla costruzione ed esercizio di linee e cabine elettriche, la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto, prevede una procedura semplificata di valutazione, con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA)<sup>1</sup>, la quale permette, nella maggior parte delle situazioni, una valutazione esaustiva dall'esposizione ai campi magnetici.*

Nella presente relazione tecnica, applicando la procedura semplificata, vengono calcolate le fasce di rispetto e le DPA delle cabine e linee elettriche oggetto di progettazione, ai fini della valutazione dell'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici.

---

<sup>1</sup> Per le linee elettriche è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le Cabine Secondarie è la distanza, in pianta sul livello suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

# 1. Riferimenti Normativi

I principali riferimenti normativi da presi in considerazione per la progettazione, la costruzione e l'esercizio dell'intervento oggetto del presente documento, sono di seguito elencati:

- Norma CEI 106-11 (Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del D.P.C.M. 8 luglio 2003 (art.6));
- D.P.C.M. del 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”;
- Legge n.36 del 22 febbraio 2001;
- Decreto Interministeriale del 21 marzo 1988 n.449;
- Guida e-Distribuzione Distanza di prima approssimazione da linee e cabine elettriche;
- Norma CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”;
- DM 29.05.2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”.



## 2. Descrizione generale dell'impianto

L'impianto di produzione di energia elettrica oggetto dell'iniziativa intrapresa dalla Società **"HF SOLAR 6 S.r.l."**, ha una potenza di picco, intesa come somma delle potenze nominali dei moduli fotovoltaici scelti in fase di progettazione definitiva, pari a **29.359,40 kWp** e, conformemente a quanto prescritto dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale con preventivo di connessione del 08/04/2022 Codice Pratica 201900958, verrà collegato in antenna a 36 kV con la futura sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione 380/150/36 kV della RTN denominata "Vizzini".

Il generatore fotovoltaico, ovvero la parte di impianto che converte la radiazione solare in energia elettrica sfruttando l'effetto fotovoltaico, è stato dimensionato applicando il criterio della superficie utile disponibile, tenendo conto dei distanziamenti da mantenere tra i filari di tracker per evitare fenomeni di auto-ombreggiamento (che influiscono sulla producibilità energetica) e garantire adeguati spazi per la conduzione dell'attività agricola, degli ingombri delle Cabine Elettriche di Conversione e Trasformazione dell'energia elettrica prodotta e della Cabina di Raccolta.

Per la realizzazione del campo di generazione, in questa fase della progettazione, si è scelto di utilizzare moduli fotovoltaici **"Trina Solar Bifacciali da 670 Wp"** costituiti da 132 celle in silicio monocristallino i quali, al fine di massimizzare la producibilità energetica, verranno montati su strutture di tipo tracker PVH da 28, 56 e 84 moduli.

### ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- $P_{MAX}$ (Wp)*	635	640	645	650	655	660	665	670
Power Tolerance- $P_{MAX}$ (W)	0 ~ +5							
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	37.1	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3	38.5
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	17.15	17.19	17.23	17.27	17.31	17.35	17.39	17.43
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	44.9	45.1	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1	46.3
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	18.21	18.26	18.31	18.35	18.40	18.45	18.50	18.55
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	20.4	20.6	20.8	20.9	21.1	21.2	21.4	21.6

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. \*Measuring tolerance: ±3%.

### Electrical characteristics with different power bin (reference to 10% Irradiance ratio)

Total Equivalent power - $P_{MAX}$ (Wp)	680	685	690	696	701	706	712	717
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	37.1	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3	38.5
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	18.35	18.39	18.44	18.48	18.52	18.56	18.60	18.63
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	44.9	45.1	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1	46.3
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	19.48	19.54	19.59	19.63	19.69	19.74	19.79	19.84
Irradiance ratio (rear/front)	10%							

Power Bifaciality: 70±5%.

### ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- $P_{MAX}$ (Wp)	480	484	488	492	495	499	504	508
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	34.6	34.7	34.9	35.1	35.2	35.4	35.6	35.7
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	13.90	13.94	13.98	14.01	14.05	14.10	14.16	14.20
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	42.3	42.5	42.7	42.9	43.0	43.2	43.4	43.6
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	14.67	14.71	14.75	14.79	14.83	14.87	14.91	14.95

NOCT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

### MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384×1303×35 mm (93.86×51.30×1.38 inches)
Weight	38.7 kg (85.3 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)
Frame	35mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ), Portrait: 280/280 mm (11.02/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EV02 / TS4*

\*Please refer to regional datasheet for specified connector.

### TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of $P_{MAX}$	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of $V_{OC}$	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of $I_{SC}$	0.04%/°C

### MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC) 1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	35A

### WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
30 year Power Warranty
2% first year degradation
0.45% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

### PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 31 pieces
Modules per 40' container: 558 pieces

Figura 3: scheda tecnica moduli fotovoltaici scelti in fase di progettazione definitiva

Per ridurre i costi di investimento e manutenzione, si è scelto di adottare inverter di tipo centralizzati ***SMA SUNNY CENTRAL da 2.500 e 3.000 kVA***, a ciascuno dei quali verranno collegate in parallelo un certo numero di stringhe fotovoltaiche, fermo restando che la scelta adottata potrà subire modifiche in fase di progettazione esecutiva:

# SUNNY CENTRAL 1500 V

Technical Data	Sunny Central 2300-EV	Sunny Central 2750-EV	Sunny Central 3000-EV
<b>Input (DC)</b>			
MPP voltage range $V_{DC}$ (at 25°C / at 35°C / at 50°C)	850 V to 1425 V / 1200 V / 1200 V	875 V to 1425 V / 1200 V / 1200 V	956 V to 1425 V / 1200 V / 1200 V
Min. input voltage $V_{DC, min}$ / Start voltage $V_{DC, start}$	778 V / 928 V	849 V / 999 V	927 V / 1077 V
Max. input voltage $V_{DC, max}$	1500 V	1500 V	1500 V
Max. input current $I_{DC, max}$ (at 25°C / at 50°C)	3200 A / 2956 A	3200 A / 2956 A	3200 A / 2970 A
Max. short-circuit current rating	6400 A	6400 A	6400 A
Number of DC inputs	32	32	32
Max. number of DC cables per DC input (for each polarity)	2 x 800 kmil, 2 x 400 mm <sup>2</sup>	2 x 800 kmil, 2 x 400 mm <sup>2</sup>	2 x 800 kmil, 2 x 400 mm <sup>2</sup>
Integrated zone monitoring	o	o	o
Available DC fuse sizes (per input)	200 A, 250 A, 315 A, 350 A, 400 A, 450 A, 500 A		
<b>Output (AC)</b>			
Nominal AC power at cos $\varphi = 1$ (at 35°C / at 50°C)	2500 kVA / 2250 kVA	2750 kVA / 2500 kVA	3000 kVA / 2700 kVA
Nominal AC power at cos $\varphi = 0.8$ (at 35°C / at 50°C)	2000 kW / 1800 kW	2200 kW / 2000 kW	2400 kW / 2160 kW
Nominal AC current $I_{AC, nom}$ = Max. output current $I_{AC, max}$	2624 A	2646 A	2646 A
Max. total harmonic distortion	< 3% at nominal power	< 3% at nominal power	< 3% at nominal power
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range <sup>1) 6)</sup>	550 V / 440 V to 660 V	600 V / 480 V to 690 V	655 V / 524 V to 721 V <sup>1)</sup>
AC power frequency		50 Hz / 47 Hz to 63 Hz 60 Hz / 57 Hz to 63 Hz	
Min. short-circuit ratio at the AC terminals <sup>10)</sup>		> 2	
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable <sup>6) 11)</sup>		● 1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited ○ 1 / 0.0 overexcited to 0.0 underexcited	
<b>Efficiency</b>			
Max. efficiency <sup>2)</sup> / European efficiency <sup>2)</sup> / CEC efficiency <sup>3)</sup>	98.6% / 98.3% / 98.0%	98.7% / 98.5% / 98.5%	98.8% / 98.6% / 98.5%
<b>Protective Devices</b>			
Inputside disconnection point		DC loadbreak switch	
Outputside disconnection point		AC circuit breaker	
DC overvoltage protection		Surge arrester, type I	
AC overvoltage protection (optional)		Surge arrester, class I	
Lightning protection (according to IEC 62305-1)		Lightning Protection Level III	
Ground-fault monitoring / remote ground-fault monitoring		o / o	
Insulation monitoring		o	
Degree of protection: electronics / air duct / connection area (as per IEC 60529)		IP65 / IP34 / IP34	
<b>General Data</b>			
Dimensions (W / H / D)	2780 / 2318 / 1588 mm (109.4 / 91.3 / 62.5 inch)		
Weight	< 3400 kg / < 7496 lb		
Self-consumption (max. <sup>4)</sup> / partial load <sup>4)</sup> / average <sup>4)</sup>	< 8100 W / < 1800 W / < 2000 W		
Self-consumption (standby)	< 370 W		
Internal auxiliary power supply	Integrated 8.4 kVA transformer		
Operating temperature range <sup>5)</sup>	-25 to 60°C / -13 to 140°F		
Noise emission <sup>7)</sup>	67.8 dB(A)		
Temperature range (standby)	-40 to 60°C / -40 to 140°F		
Temperature range (storage)	-40 to 70°C / -40 to 158°F		
Max. permissible value for relative humidity (condensing / non-condensing)	95% to 100% (2 month / year) / 0% to 95%		
Maximum operating altitude above MSL <sup>6)</sup> 1000 m / 2000 m / 3000 m	● / o / o (earlier temperature-dependent derating)		
Fresh air consumption	6500 m <sup>3</sup> /h		
<b>Features</b>			
DC connection	Terminal lug on each input (without fuse)		
AC connection	With busbar system (three busbars, one per line conductor)		
Communication	Ethernet, Modbus Master, Modbus Slave		
Communication with SMA string monitor (transmission medium)	Modbus TCP / Ethernet (FO MM, Cat-5)		
Enclosure / roof color	RAL 9016 / RAL 7004		
Supply transformer for external loads	o (2.5 kVA)		
Standards and directives complied with	CE, IEC / EN 62109-1, IEC / EN 62109-2, BDEW-M5RL, IEEE 1547, Arrêté du 23/04/08		
EMC standards	CISPR 11, CISPR 22, EN55011:2017, EN 55022, IEC/EN 61000-6-4, IEC/EN 61000-6-2, IEC 62920, FCC Part 15 Class A	CISPR 11, CISPR 22, EN55011:2017, EN 55022, IEC 62920, FCC Part 15 Class A	
Quality standards and directives complied with	VDI/VDE 2862 page 2, DIN EN ISO 9001		
● Standard features ○ Optional			
Type designation	SC-2500-EV-10	SC-2750-EV-10	SC-3000-EV-10

- 1) At nominal AC voltage, nominal AC power decreases in the same proportion
- 2) Efficiency measured without internal power supply
- 3) Efficiency measured with internal power supply
- 4) Self-consumption at rated operation
- 5) Self-consumption at < 75% Pn at 25°C
- 6) Self-consumption averaged out from 5% to 100% Pn at 35°C

- 7) Sound pressure level at a distance of 10 m
- 8) Values apply only to inverters. Permissible values for SMA MV solutions from SMA can be found in the corresponding data sheets.
- 9) AC voltage range can be extended to 753V for 50Hz grids only (option „Aux power supply: external“ must be selected, option „housekeeping“ not combinable).
- 10) A short-circuit ratio of < 2 requires a special approval from SMA.
- 11) Depending on the DC voltage

Figura 4: datasheet inverter centralizzati SMA

Definito il layout di impianto e la tipologia di inverter da utilizzare, il numero di moduli della stringa e il numero di stringhe da collegare in parallelo, sono stati determinati coordinando opportunamente le caratteristiche dei moduli fotovoltaici con quelle degli inverter scelti, rispettando le seguenti 4 condizioni:

1. *la massima tensione del generatore fotovoltaico deve essere inferiore alla massima tensione di ingresso dell'inverter;*
2. *la massima tensione nel punto di massima potenza del generatore fotovoltaico non deve essere superiore alla massima tensione del sistema MPPT dell'inverter;*
3. *la minima tensione nel punto di massima potenza del generatore fotovoltaico non deve essere inferiore alla minima tensione del sistema MPPT dell'inverter;*
4. *la massima corrente del generatore fotovoltaico non deve essere superiore alla massima corrente in ingresso all'inverter.*

Per la verifica delle suddette condizioni sono state applicate le formule di seguito riportate.

**Verifica della condizione 1** (massima tensione del generatore FV non superiore alla massima tensione di ingresso dell'inverter)

La massima tensione del generatore fotovoltaico è la tensione a vuoto di stringa calcolata alla minima temperatura di funzionamento dei moduli, in genere assunta pari a:

- - 10° C per le zone fredde;
- 0° C per le zone meridionali e costiere.

La tensione massima del generatore fotovoltaico alla minima temperatura di funzionamento dei moduli si calcola con la seguente espressione:

$$U_{\text{MAX FV}}(\theta_{\text{min}}) = N_s \cdot U_{\text{MAX modulo}}(\theta_{\text{min}}) \quad [\text{V}]$$

dove  $N_s$  è il numero di moduli che costituiscono la stringa,  $U_{\text{MAX modulo}}(\theta_{\text{min}})$  è la tensione massima del singolo modulo alla minima temperatura di funzionamento.

Quest'ultima può essere calcolata con la seguente espressione:

$$U_{\text{MAX modulo}}(\theta_{\text{min}}) = U_{\text{oc}}(25^\circ\text{C}) - \beta \cdot (25 - \theta_{\text{min}})$$

dove

- $U_{oc} (25^{\circ}\text{C})$  è la tensione a vuoto del modulo in condizioni standard il cui valore viene dichiarato dal costruttore;
- $\beta$  è il coefficiente di variazione della tensione con la temperatura, anch'esso dichiarato dal costruttore.

Deve risultare pertanto:

$$U_{\text{MAX FV}}(\theta_{\text{min}}) = N_s \cdot U_{\text{MAX modulo}}(\theta_{\text{min}}) = N_s \cdot [U_{oc} (25^{\circ}\text{C}) - \beta (25 - \theta_{\text{min}})] \leq U_{\text{max inverter}}$$

essendo  $U_{\text{max inverter}}$  la massima tensione in ingresso all'inverter, deducibile dai dati di targa.

**Verifica della condizione 2** (la massima tensione nel punto di massima potenza del generatore fotovoltaico non deve essere superiore alla massima tensione del sistema MPPT dell'inverter)

La massima tensione del generatore fotovoltaico nel punto di massima potenza rappresenta la tensione di stringa calcolata con irraggiamento pari a  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , e può essere calcolata con la seguente espressione:

$$U_{\text{MPPT MAX FV}}(\theta_{\text{min}}) = N_s \cdot U_{\text{MPPT MAX modulo}}(\theta_{\text{min}})$$

dove:

- $N_s$  è il numero di moduli collegati in serie;
- $U_{\text{MPPT MAX modulo}}(\theta_{\text{min}})$  è la massima tensione del modulo FV nel punto di massima potenza calcolabile nel seguente modo:

$$U_{\text{MPPT MAX modulo}}(\theta_{\text{min}}) = U_{\text{MPPT}} - \beta \cdot (25 - \theta_{\text{min}})$$

essendo  $U_{\text{MPPT}}$  la tensione del modulo in corrispondenza del punto di massima potenza, dichiarata dal costruttore.

Ai fini del corretto coordinamento occorre verificare che:

$$U_{\text{MPPT MAX FV } (\theta_{\text{min.}})} = N_s \cdot [U_{\text{MPPT}} - \beta \cdot (25 - \theta_{\text{min.}})] \leq U_{\text{MPPT MAX INVERTER}}$$

dove  $U_{\text{MPPT MAX INVERTER}}$  è la massima tensione del sistema MPPT dell'inverter, deducibile dai dati di targa.

**Verifica della condizione 3** (la minima tensione nel punto di massima potenza del generatore fotovoltaico non deve essere inferiore alla minima tensione del sistema MPPT dell'inverter)

La minima tensione del generatore fotovoltaico nel punto di massima potenza è la tensione di stringa calcolata con:

- irraggiamento pari a  $1000\text{W/m}^2$ ,
- temperatura  $\theta_{\text{max}}$  pari a  $70\text{-}80^\circ\text{C}$ .

e può essere calcolata con la seguente espressione:

$$U_{\text{MPPT min FV}} = N_s \cdot U_{\text{MPPT min modulo}}$$

dove:

- $N_s$  è il numero di moduli collegati in serie;
- $U_{\text{MPPT min modulo}}$  è la tensione minima del modulo nel punto di massima potenza, calcolabile nel seguente modo:

$$U_{\text{MPPT min modulo}} = U_{\text{MPPT modulo}} - \beta \cdot (25 - \theta_{\text{max}})$$

Ai fini del corretto coordinamento deve risultare:

$$U_{\text{MPPT min FV}} = N_s \cdot [U_{\text{MPPT modulo}} - \beta \cdot (25 - \theta_{\text{max}})] \geq U_{\text{MPPT min INVERTER}}$$

essendo  $U_{\text{MPPT min INVERTER}}$  la minima tensione nel punto di massima potenza del sistema MPPT dell'inverter, deducibile dai dati di targa.

**Verifica della condizione 4** (la massima corrente del generatore fotovoltaico non deve essere superiore alla massima corrente in ingresso all'inverter)

La massima corrente del generatore FV è data dalla somma delle correnti massime erogate da ciascuna stringa in parallelo.

La massima corrente di stringa è calcolabile nel seguente modo:

$$I_{\text{stringa, Max}} = 1,25 \cdot I_{\text{sc}}$$

dove:

- $I_{\text{stringa,Max}}$  è la massima corrente erogata dalla stringa [A];
- $I_{\text{sc}}$  è la corrente di cortocircuito del singolo modulo [A];
- 1,25 è un coefficiente di maggiorazione che tiene conto di un aumento della corrente di cortocircuito del modulo a causa di valori di irraggiamento superiori a  $1000\text{W/m}^2$ .

Per il corretto coordinamento occorre verificare che:

$$I_{\text{max FV}} = N_p \cdot 1,25 \cdot I_{\text{sc}} \leq I_{\text{max Inverter}}$$

dove:

- $I_{\text{max FV}}$  è la massima corrente in uscita dal generatore fotovoltaico [A];
- $N_p$  è il numero di stringhe in parallelo;
- $I_{\text{max inverter}}$  è la massima corrente in ingresso all'inverter [A].

Considerando che i tracker scelti sono predisposti per l'installazione di 28, 56 e 84 moduli fotovoltaici, la verifica delle quattro precedenti condizioni è stata condotta ipotizzando di realizzare stringhe **fotovoltaiche da 28 moduli**, ottenendo esito positivo.

Come deducibile dalle tavole di layout allegata e dallo schema elettrico unifilare dell'impianto (a cui si rimanda per una maggiore comprensione di quanto descritto), la sezione di generazione è stata suddivisa in 10 sottocampi fotovoltaici, aventi le potenze di seguito elencate:

- Sottocampo fotovoltaico n°1, da 2.551,36 kWp;
- Sottocampo fotovoltaico n°2, da 2.551,36 kWp;
- Sottocampo fotovoltaico n°3, da 2.570,12 kWp;
- Sottocampo fotovoltaico n°4, da 3.414,32 kWp;
- Sottocampo fotovoltaico n°5, da 3.414,32 kWp;
- Sottocampo fotovoltaico n°6, da 3.414,32 kWp;

- Sottocampo fotovoltaico n°7, da 2.851,52 kWp;
- Sottocampo fotovoltaico n°8, da 2.851,52 kWp;
- Sottocampo fotovoltaico n°9, da 2.851,52 kWp;
- Sottocampo fotovoltaico n°10, da 2.889,04 kWp;

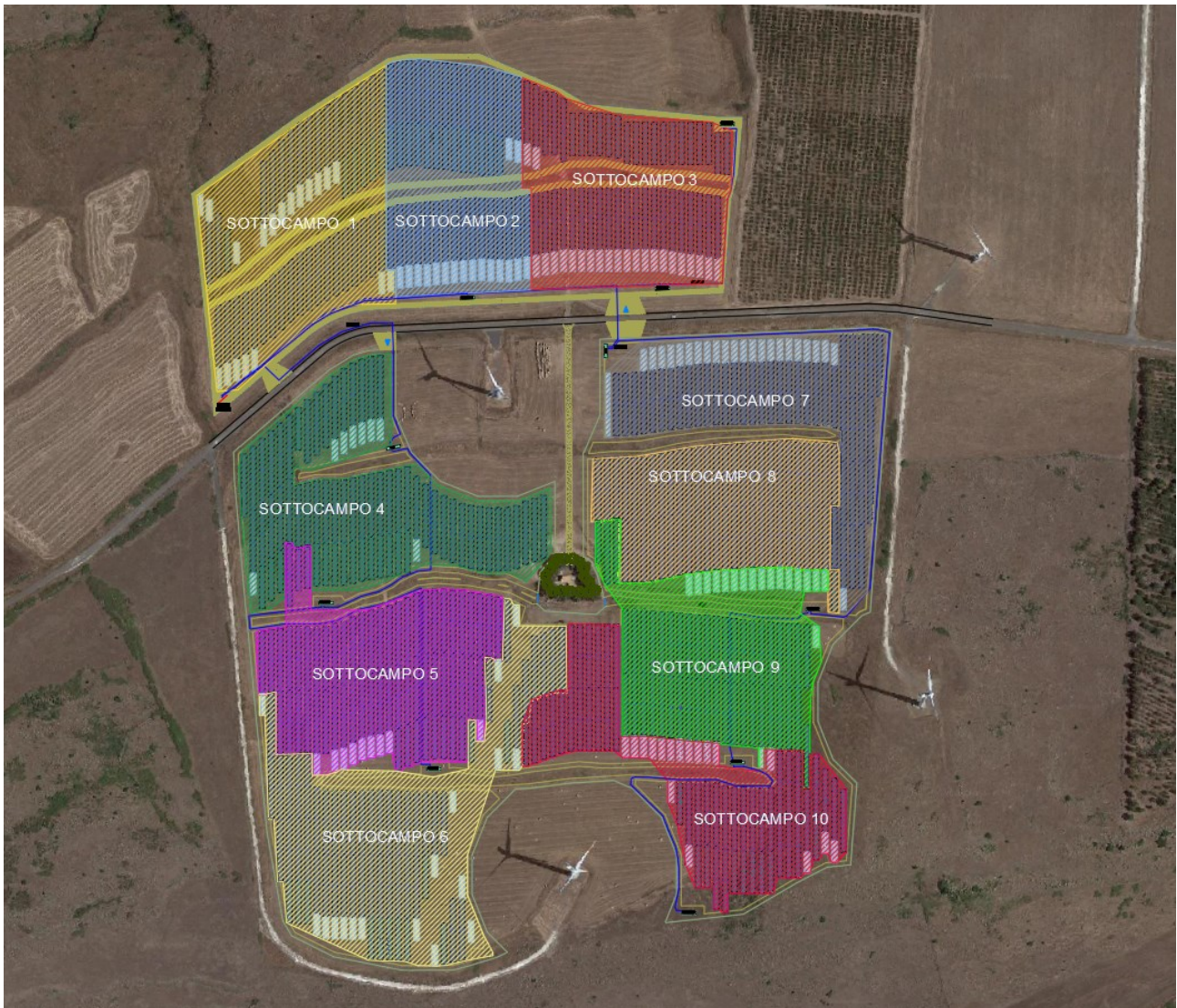


Figura 5: inquadramento territoriale su ortofoto dell'area di impianto con suddivisione dei sottocampi

Per ciascun sottocampo fotovoltaico è previsto un “**locale di Conversione e Trasformazione dell’energia elettrica prodotta**” di tipo **container**, di dimensioni di circa 12x3x3 m, premesso che la scelta potrà subire modifiche in fase di progettazione esecutiva.

Le cabine elettriche verranno interconnesse tra loro in entra-esce a mezzo di linee elettriche in cavo interrato a 36 kV a struttura radiale, e collegate al quadro elettrico generale a 36 kV installato all’interno della **cabina di raccolta**. In particolare, è prevista la realizzazione di n° 3 linee come di seguito indicato:



- Linea n° 1, RG7H1RFR 3x(1x185) mm<sup>2</sup>, interconnette le cabine di trasformazione n° 1, 2 e 3;
- Linea n° 2, RG7H1RFR 3x(1x185) mm<sup>2</sup>, interconnette le cabine di trasformazione n° 4, 5 e 6;
- Linea n° 3 RG7H1RFR 3x(1x240) mm<sup>2</sup>, interconnette le cabine di trasformazione n° 7, 8, 9 e 10.

Per una maggiore comprensione di quanto descritto, di seguito viene riportato lo schema a blocchi dell'impianto, rimandando alle tavole di progetto allegate per maggiori dettagli in merito.

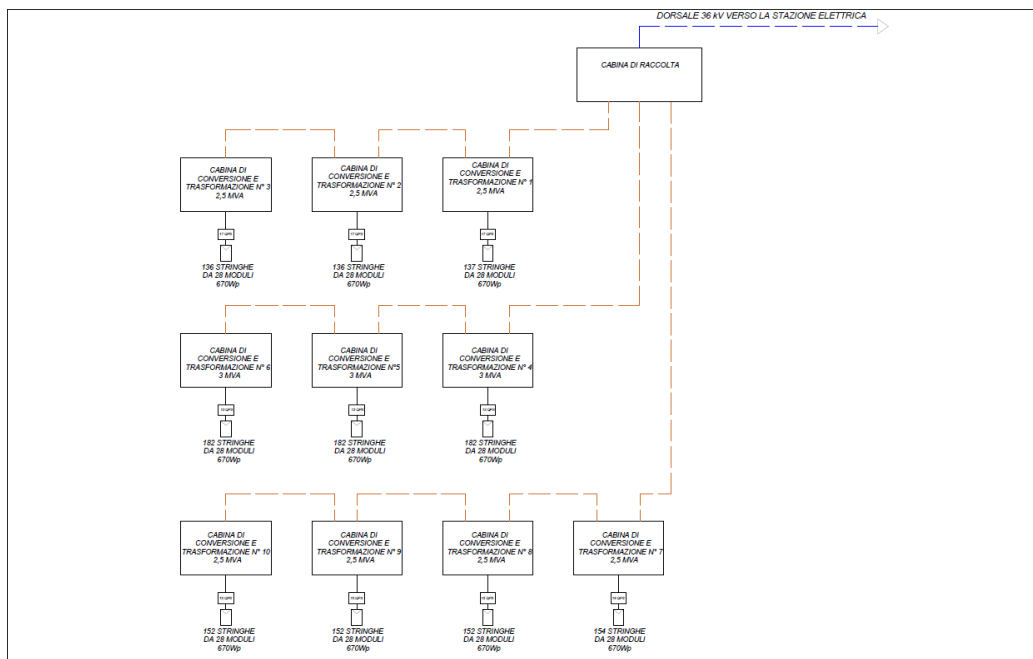


Figura 6: schema a blocchi dell'impianto

Dalla cabina di raccolta, posizionata in prossimità dell'area di accesso al sito, partirà una dorsale a 36 kV in cavo interrato in formazione 3x(1x630) mm<sup>2</sup>, la quale, sviluppandosi su tracciato di pertinenza stradale pubblica, consentirà di collegare l'impianto di produzione con la futura sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN denominata Vizzini.



*Figura 7: inquadramento territoriale su ortofoto dell'area di impianto, con indicazione del tracciato della dorsale in cavo interrato a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN denominata Vizzini*

### **3. Valutazione previsionale dei campi elettromagnetici**

Lo scopo del presente elaborato è quello di stimare i campi elettromagnetici generati durante l'esercizio dalle varie apparecchiature elettriche facenti parte dell'Impianto di Utente<sup>2</sup> ai fini della valutazione dell'esposizione umana, e dimostrare che i livelli di emissione non costituiranno rischi per la popolazione.

Gli elementi di impianto oggetto di valutazione, sono quelli di seguito elencati:

- moduli fotovoltaici;
- cabine elettriche di conversione e trasformazione;
- linee elettriche a 36 kV interne al campo;
- dorsale a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione denominata Troia.

I risultati ottenuti, vengono riportati nei successivi paragrafi.

---

<sup>2</sup> Ai sensi della Norma CEI 0-16 si definisce Impianto di Utente l'impianto di produzione nella disponibilità dell'Utente.

### **3.1 Moduli Fotovoltaici**

Come riscontrabile dallo schema elettrico unifilare dell'impianto i moduli fotovoltaici verranno collegati in serie per formare stringhe fotovoltaiche da 28 elementi.

Considerando che la corrente generata dalle stringhe in condizioni STC (irraggiamento pari a 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura ambiente pari a 25°C, Air Mass 1,5) risulta inferiore a 100 A, ai sensi della "Guida non vincolante di buona prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE-Campi Elettromagnetici" la valutazione dei campi elettromagnetici non è richiesta per nessuna tipologia di lavoratori (lavoratori non esposti a particolari rischi, lavoratori esposti a particolari rischi esclusi quelli con dispositivi impiantati attivi, lavoratori con dispositivi impiantati attivi).

### **3.2 Cabine elettriche di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta**

L'impianto di produzione di energia elettrica da fonte energetica rinnovabile che la Società "**HF SOLAR 6 S.r.l.**" intende realizzare nel territorio comunale di Francofonte in località "Contrada San Biagio", è stato suddiviso in **10 sottocampi fotovoltaici**, per ciascuno dei quali è previsto l'utilizzo di un gruppo di conversione e trasformazione dedicato.

Come riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, è prevista la realizzazione di n° **10 locali di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta**, all'interno dei quali verranno installati i gruppi di conversione, i quadri elettrici e i trasformatori di potenza a servizio di due sottocampi contigui, in modo tale da ridurre l'occupazione del suolo ed il conseguente impatto ambientale.

Le cabine scelte in fase di progettazione definitiva, sono monoblocchi di tipo container di dimensioni pari a 12x3x3 m.

L'indagine del campo magnetico generato all'interno e nelle immediate vicinanze delle cabine elettriche di trasformazione esula dagli scopi della presente relazione, trattandosi di siti interclusi alla libera circolazione e nei quali il tempo di permanenza agli addetti ai lavori è tale da non costituire significativo rischio per la salute. Ciò nonostante, se ne riporta uno studio in condizioni di portata di corrente in servizio normale, intesa, ai sensi della Norma CEI 11-60, come la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento, in quanto, ai sensi dell'art. 6 del D.P.C.M. 8 luglio 2008, i proprietari devono comunicare non solo l'ampiezza delle fasce di rispetto ma anche i dati per il calcolo delle stesse ai fini delle verifiche delle Autorità Competenti.

### 3.2.1 Procedura di calcolo adottata

Dato che le cabine scelte non sono classificabili come standard (box con dimensioni mediamente di 4 x 2,4 m e altezze di 2,4 e 2,7 m, equipaggiati con trasformatore da 250-400-630 kVA), la procedura di calcolo prescritta dal DM 29/05/2008, in prima analisi, non può essere applicata.

Le sorgenti di campo presenti all'interno delle cabine sono di diverso tipo, alcune semplici da analizzare, altre di più difficile rappresentazione. Tuttavia, ai fini della valutazione delle emissioni generate durante l'esercizio dalle apparecchiature ivi contenute, sono state considerate alcune configurazioni elementari, in cui scomporre idealmente l'impianto, a mezzo delle quali è possibile definire i principali parametri elettrici e geometrici da cui dipende il campo magnetico generato da un impianto reale.

Le configurazioni elementari prese in considerazione sono le seguenti:

- la “*sorgente puntiforme*” cioè di piccole dimensioni rispetto alle distanze di interesse, schematizzata a mezzo di una spira circolare percorsa da corrente;
- la “*sorgente sistema di conduttori*” costituita da conduttori paralleli singoli, in coppia e in terna.

La sorgente puntiforme intende simulare apparecchiature o componenti di apparecchiature, mentre il sistema di conduttori in diverse configurazioni rappresenta i diversi tipi di percorsi di conduttori e cavi presenti nell'impianto.

#### 3.2.1.1 Sorgente puntiforme

Una sorgente di campo magnetico può essere considerata puntiforme quando le dimensioni del suo circuito elettrico sono piccole se paragonate alla distanza tra la sorgente e la regione di spazio in cui si considera il campo.

Una sorgente puntiforme può essere schematizzata con una spira di raggio  $R$  (m) percorsa da una corrente  $I$  (A):

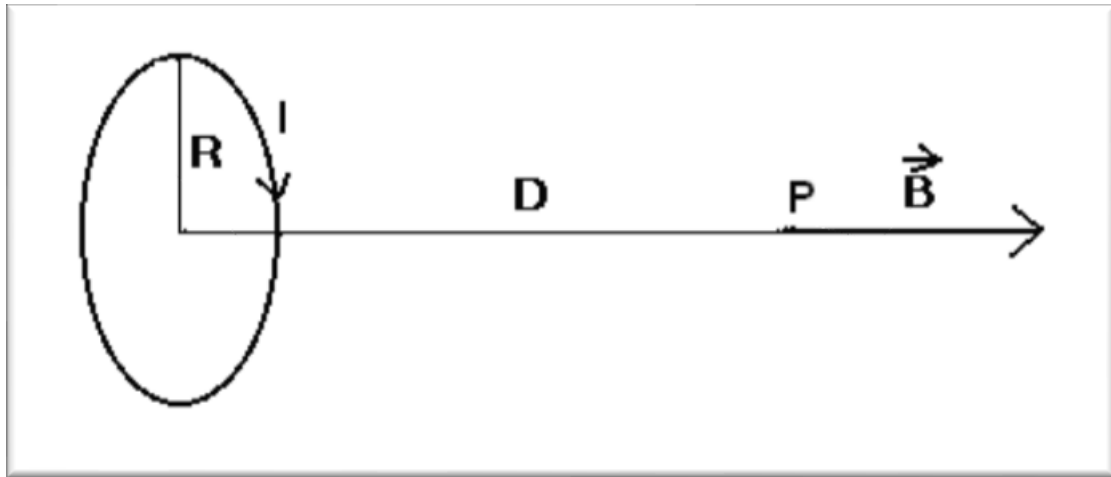


Figura 8:rappresentazione di una sorgente puntiforme di campo magnetico a mezzo di una spira circolare percorsa da corrente

A frequenza industriale (50 Hz) ai fini del calcolo del campo magnetico generato dalla spira, si può ricorrere alla legge di Biot e Savart, la quale porta alla seguente formula analitica per l'induzione magnetica B (T) nel punto P alla distanza D (m) dal centro della spira lungo l'asse passante per tale centro e ortogonale al piano della spira:

$$B(\mu T) = \frac{\pi}{5} \cdot \frac{I \cdot R^2}{D^3}$$

Figura 9:formula per il calcolo dell'induzione magnetica generata da una spira circolare percorsa da corrente in un punto P a distanza D dal centro della spira lungo l'asse passante per tale centro e ortogonale al piano della spira

dove:

- R è il raggio della spira (m);
- I è la corrente che la percorre (A);
- D è la distanza dal punto di esplorazione (m).

### 3.2.1.2 Sorgenti filiformi rettilinei

Le sorgenti filiformi rettilinei che si riscontrano in una cabina elettrica di trasformazione sono fondamentalmente sistemi trifase di conduttori percorsi da un sistema di correnti normalmente equilibrato. Per una linea trifase percorsa da un sistema di correnti equilibrato, l'intensità del campo magnetico ad una distanza D dal centro di tale sistema può essere calcolato con le formule approssimate di seguito riportate:

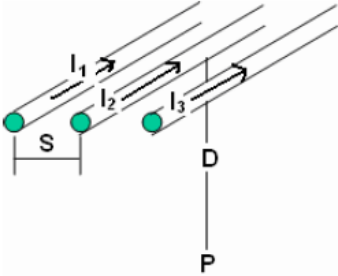
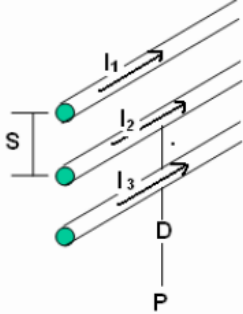
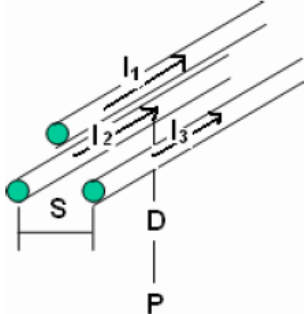
a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
		
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I S}{D D}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I S}{D D}$

Figura 10: formule approssimate per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da un sistema trifase di conduttori rettilinei disposti tra loro parallelamente e percorsi da una terna di correnti (I1, I2, I3) equilibrate e simmetriche

### 3.2.2 Individuazione delle sorgenti di emissione e calcolo della DPA

Ai fini del calcolo delle Distanze di Prima Approssimazione delle cabine elettriche di conversione e trasformazione, è necessario individuare le sorgenti di emissione presenti all'interno delle stesse.

Considerando che sono previste due differenti taglie di trasformatori, cautelativamente l'analisi è stata condotta con riferimento alle cabine elettriche equipaggiate con trasformatori da 3.150 kVA, al cui interno è prevista la presenza delle apparecchiature di seguito elencate:

- quadro elettrico di bassa tensione;

- gruppo di conversione DC/AC;
- trasformatore di potenza;
- quadro elettrico a 36 kV;
- cavi elettrici di BT;
- cavi elettrici a 36 kV.

La cui disposizione è quella rappresentata in figura 10:

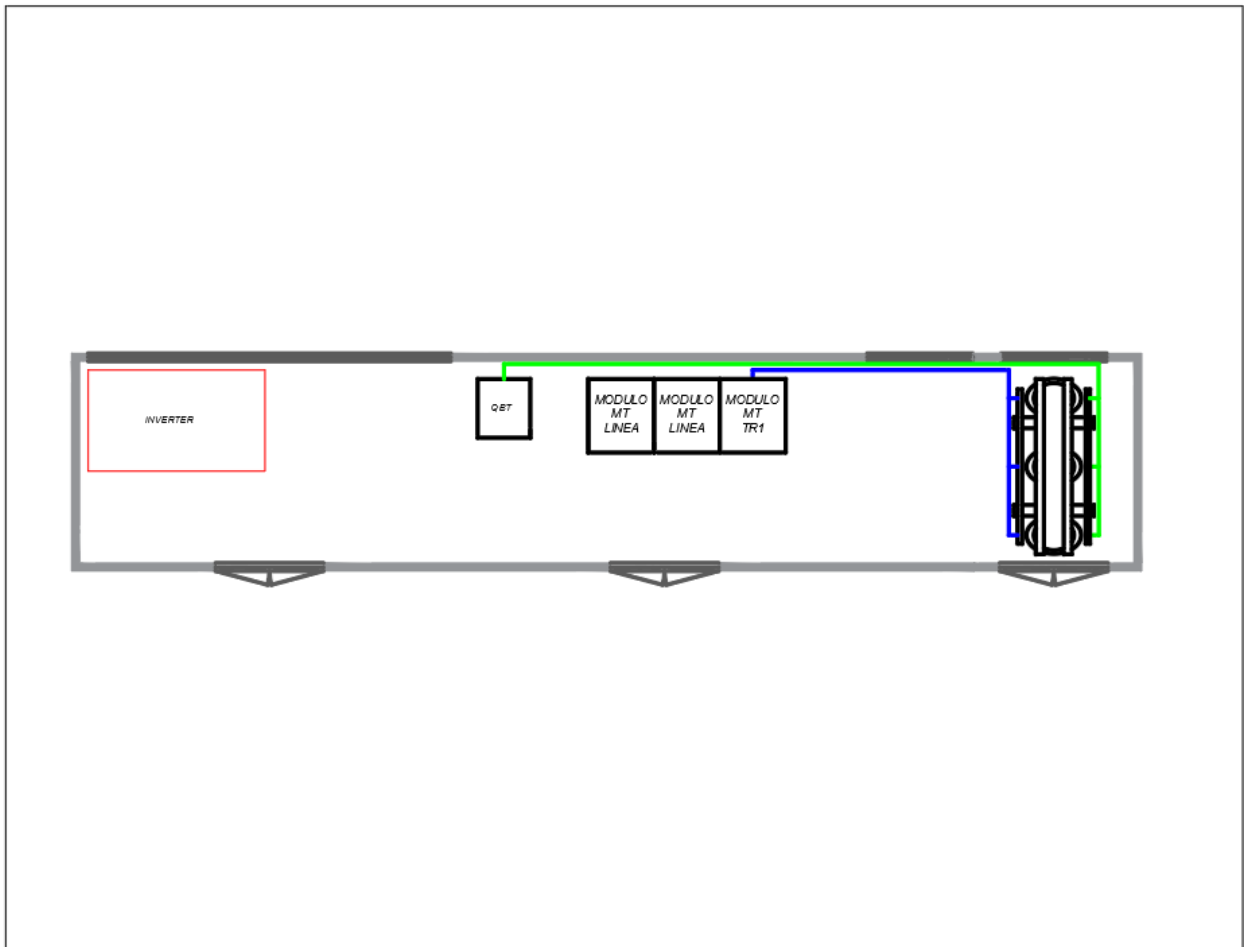


Figura 11: layout cabina elettrica di conversione e trasformazione con rappresentazione della disposizione delle apparecchiature ivi contenute

Considerando che l'impianto verrà esercito in corrente alternata a frequenza industriale, ciascuna delle sorgenti di emissione verrà percorsa da un sistema trifase di corrente supposte equilibrate:

$$i_1(t) = I_{\max} \text{ sen } \omega t$$

$$i_2(t) = I_{\max} \text{ sen } (\omega t - 120^\circ)$$

$$i_3(t) = I_{\max} \text{sen} (\omega t - 240^\circ)$$

dove i valori efficaci delle correnti considerate ai fini del calcolo sono quelli di seguito riportati:

### **Quadri elettrici di bassa tensione<sup>3</sup>**

Corrente nominale = 3173 A

### **Cavi elettrici di bassa tensione<sup>4</sup>**

Corrente nominale = 3173 A

### **Gruppi di conversione dell'energia elettrica<sup>5</sup>**

Corrente nominale = 2646 A

### **Trasformatori di potenza<sup>6</sup>**

Corrente nominale = 2777 A

### **Quadro elettrico 36 kV<sup>7</sup>**

Corrente nominale = 50,5 A

### **Cavi elettrici a 36 kV<sup>8</sup>**

Corrente nominale = 50,5 A

Per la valutazione del campo magnetico generato durante l'esercizio, i trasformatori di potenza, i quadri elettrici e i gruppi di conversione, sono stati schematizzati a mezzo di una "sorgente puntiforme", mentre i cavi elettrici di bassa tensione e a 36 kV sono stati assimilati a delle "sorgenti

---

<sup>3</sup> Cautelativamente è stato considerato un valore pari alla somma delle correnti di stringa dei sottocampi sottesi al quadro elettrico BT a servizio dell'inverter da 3.000 kVA.

<sup>4</sup> Cautelativamente è stato considerato un valore pari alla corrente nominale del quadro BT;

<sup>5</sup> È stato considerato il valore dichiarato dal Costruttore;

<sup>6</sup> Cautelativamente è stato considerato un valore pari alla corrente nominale dell'avvolgimento di bassa tensione del trasformatore.

<sup>7</sup> Cautelativamente è stato considerato un valore pari alla somma delle correnti nominali degli avvolgimenti di alta tensione dei trasformatori.

<sup>8</sup> Cautelativamente è stato considerato un valore pari alla corrente nominale dell'avvolgimento di alta tensione del trasformatore



filiformi” (terna trifase di conduttori disposti in piano) e, per tenere conto della contemporanea presenza di più sorgenti, è stato applicato il “**principio di sovrapposizione degli effetti**”.

Applicando il procedimento sopra descritto, è stata determinata la “Distanza di Prima Approssimazione” ovvero la distanza in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa, oltre la quale l’induzione magnetica assume valori inferiori all’obiettivo di qualità fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 pari a  $3\mu T$ :

$$DPA = 11,5 m$$

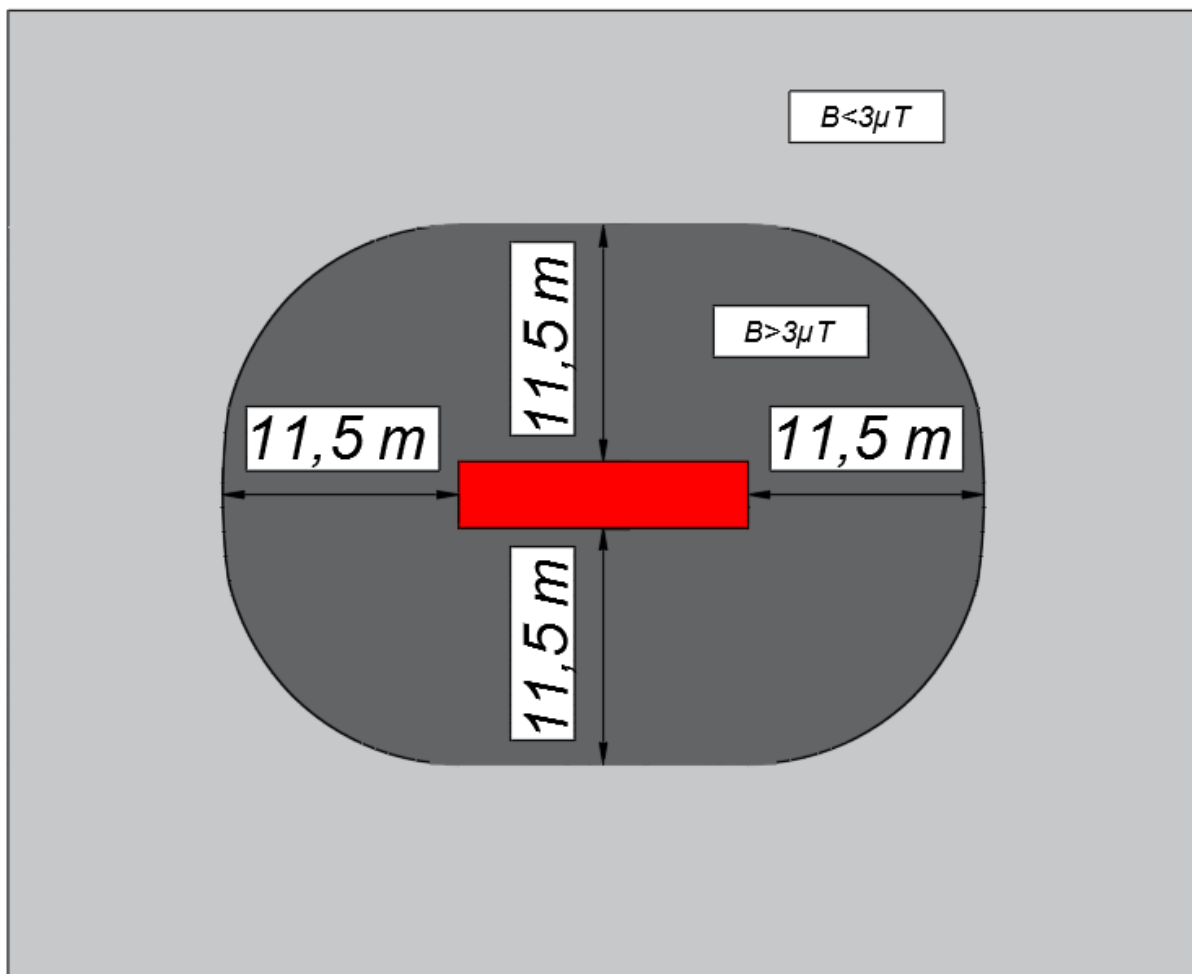


Figura 12: indicazione della DPA delle cabine elettriche di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta calcolata con la procedura descritta

### 3.2.3 Calcolo della fascia di rispetto secondo il DM 29/05/2008

Nonostante le cabine elettriche di conversione e trasformazione scelte in fase di progettazione definitiva non siano classificabili come standard (box con dimensioni mediamente di 4 x 2,4 m e altezze di 2,4 e 2,7 m equipaggiati con trasformatore da 250-400-630 kVA), poiché la disposizione

delle apparecchiature ivi contenute è analoga a quella delle Cabine Elettriche di Distribuzione di proprietà di e-distribuzione, è stata determinata la Distanza di Prima Approssimazione applicando la procedura di calcolo definita dal Decreto Ministeriale 29 maggio 2008. Attualmente infatti il calcolo della DPA per le cabine fuori standard rimane un problema aperto<sup>9</sup>.

*La struttura semplificata sulla base della quale viene calcolata la DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali), è un sistema trifase, percorso da una corrente pari alla corrente nominale dell'avvolgimento di bassa tensione del trasformatore e con distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore stesso.*

Sotto queste ipotesi, l'espressione che consente di determinare la DPA è quella di seguito riportata:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 X^{0,5241} \quad (1)$$

dove:

- DPA è la distanza di prima approssimazione [m];
- I è la corrente nominale dell'avvolgimento di bassa tensione del trasformatore [A];
- X è il diametro dei cavi BT in uscita dal trasformatore [m].

Anche in questo caso, cautelativamente, il calcolo è stato condotto con riferimento alle cabine elettriche equipaggiate con trasformatori da 3150 kVA aventi un rapporto di trasformazione nominale pari a 0,655 kV/36 kV. Pertanto, la corrente nominale dell'avvolgimento di bassa tensione da prendere in considerazione ai fini del calcolo della DPA, secondo la procedura prevista dal DM 19 maggio 2008, vale:

$$I_{BT \text{ trafo } 1} = 2777 \text{ A}$$

Considerando che ciascuna fase BT sarà costituita da **6 cavi unipolari da 400 mm<sup>2</sup> in parallelo**, utilizzando la tabella sotto riportata, è stato determinato il diametro equivalente del cavo da prendere in considerazione ai fini dell'applicazione della (1) per il calcolo della *Distanza di Prima Approssimazione*:

---

<sup>9</sup> Fonte ARPAT "Agenzia Regionale per la protezione ambientale della Toscana" – Nuova edificazione in prossimità di un elettrodotto esistente – Guida pratica per le informazioni sulle fasce di rispetto per gli elettrodotti.

Numero conduttori	Sezione nominale	Diametro indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Diametro est. indicativo di produzione	Peso indicativo del cavo	Resistenza elettrica a 20°C	Portate di corrente	
							20°C Interrato	30° In tubo o in aria
Cores number	Cross section	Approx conductor diameter	Insulation medium thickness	Approx external production diameter	Approx cable weight	Electric resistance at 20°C	Current carrying capacities	
(N°)	(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(Ohm/km)	20°C In ground (A)	30° In air or pipe (A)
Unipolare / Single core								
1x	1.5	1.6	0.7	6.05	51	13.3	21	20
1x	2.5	2	0.7	6.50	63	7.98	27	28
1x	4	2.6	0.7	7.15	82	4.95	35	37
1x	6	3.4	0.7	7.50	101	3.3	44	48
1x	10	4.4	0.7	7.99	152	1.91	59	66
1x	16	5.7	0.7	9.10	211	1.21	77	88
1x	25	6.9	0.9	10.40	301	0.78	100	117
1x	35	8.1	0.9	11.70	396	0.554	121	144
1x	50	9.8	1	14.05	556	0.386	150	175
1x	70	11.6	1.1	15.90	761	0.272	184	222
1x	95	13.3	1.1	17.59	991	0.206	217	269
1x	120	15.1	1.2	19.90	1219	0.161	259	312
1x	150	16.8	1.4	22.01	1517	0.129	287	355
1x	185	18.6	1.6	24.20	1821	0.106	323	417
1x	240	21.4	1.7	26.88	2366	0.0801	379	490
1x	300	23.9	1.8	31.70	2947	0.0641	429	-
1x	400	27.5	2	35.10	3870	0.0486	541	-

Figura 13: scheda tecnica cavi elettrici BT

Tenendo conto del diametro del singolo cavo e del numero di cavi costituenti ciascuna fase BT, si ricava un diametro equivalente del fascio di cavi in uscita dal singolo trasformatore di circa 211 mm circa pertanto, applicando la (1), si ottiene una DPA, arrotondata al mezzo metro superiore, pari a:

$$DPA = 10 \text{ m}$$

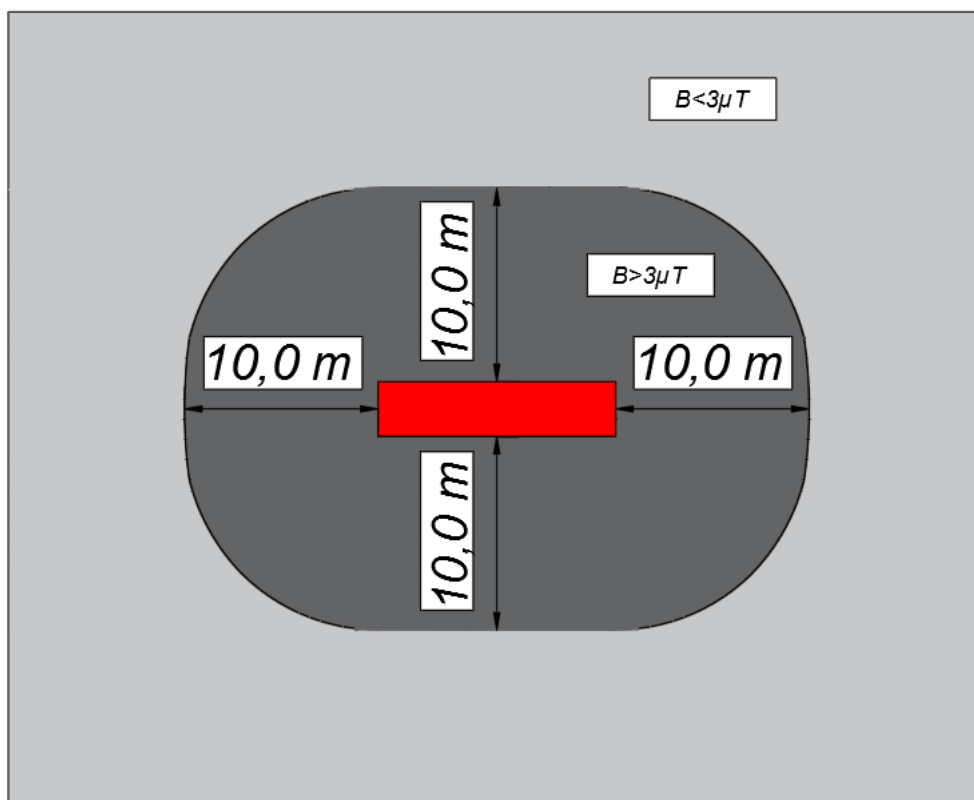


Figura 14: indicazione della DPA delle cabine elettriche di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta valutata applicando la procedura prevista dal DM 29 maggio 2008

La DPA valutata con la procedura semplificata prevista dal DM 29 maggio 2008, risulta essere molto prossima al valore ricavato attraverso l'applicazione del procedimento di calcolo descritto al paragrafo precedente.

### **3.3 Linee elettriche 36 kV interne al campo**

Come descritto nella relazione tecnica generale, è prevista la realizzazione di n° 3 linee elettriche di campo, a mezzo delle quali le cabine elettriche di trasformazione verranno interconnesse in entra-esce e collegate al quadro elettrico generale a 36 kV installato all'interno della cabina di raccolta.

Il profilo trasversale del campo magnetico generato dalle linee elettriche in cavo interrato, misurato a 1 m dal piano di calpestio, ha un andamento del tipo indicato nelle figure seguenti, dove:

- le curve della figura a si riferiscono a linee trifasi con conduttori distanziati tra loro di 0,20 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio. La corrente di ogni fase è di 200 A;
- le tre curve di figura b sono riferite a linee con fasi disposte a trifoglio e distanti tra loro 0,05 m con profondità di posa per fase di cui alla precedente figura.

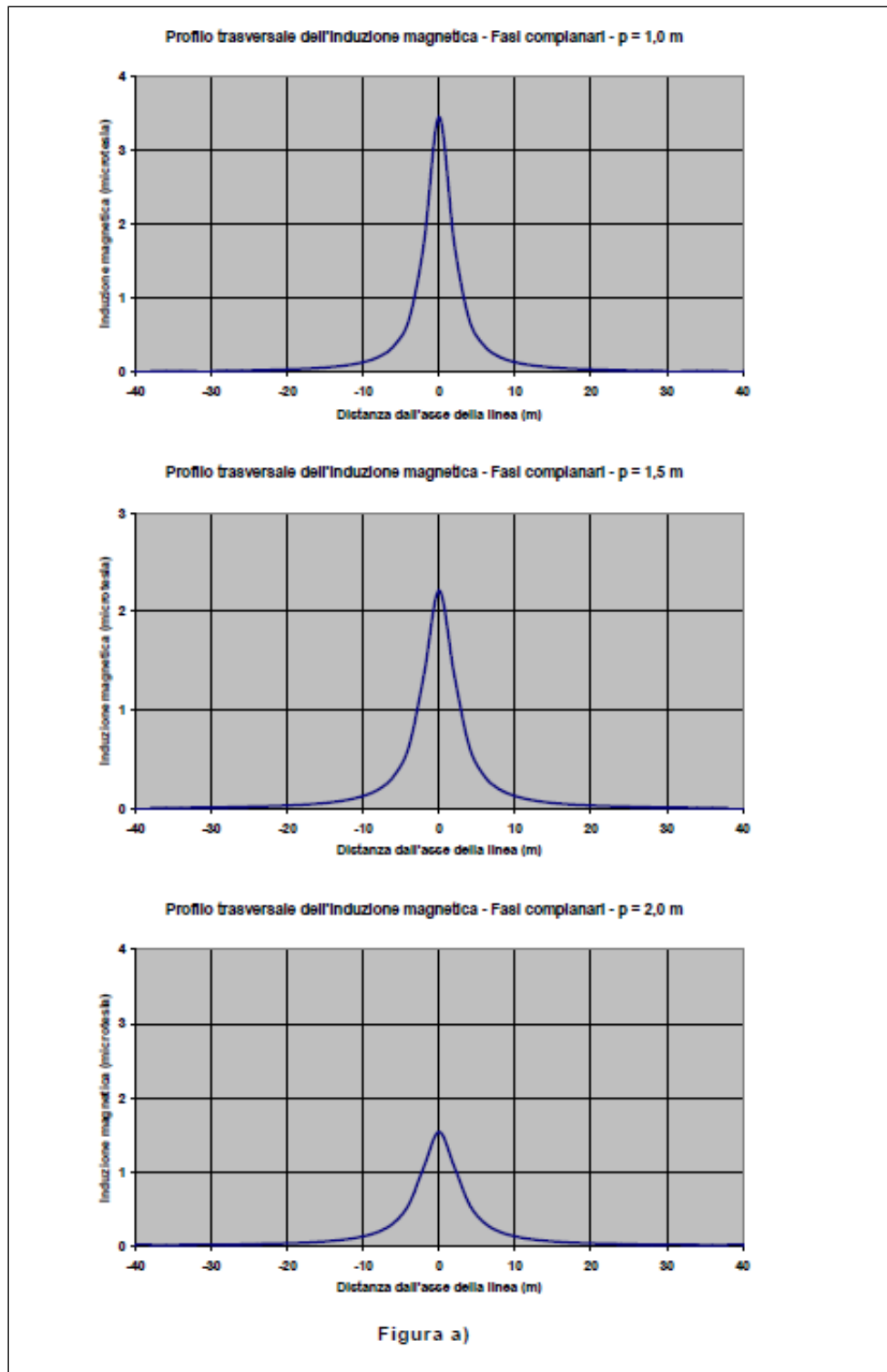


Figura 15: andamento del Campo Induzione Magnetica generata a livello del suolo sulla verticale del cavo – linea trifase con conduttori distanziati di 0,20 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio; corrente di ogni fase pari a 200 A.

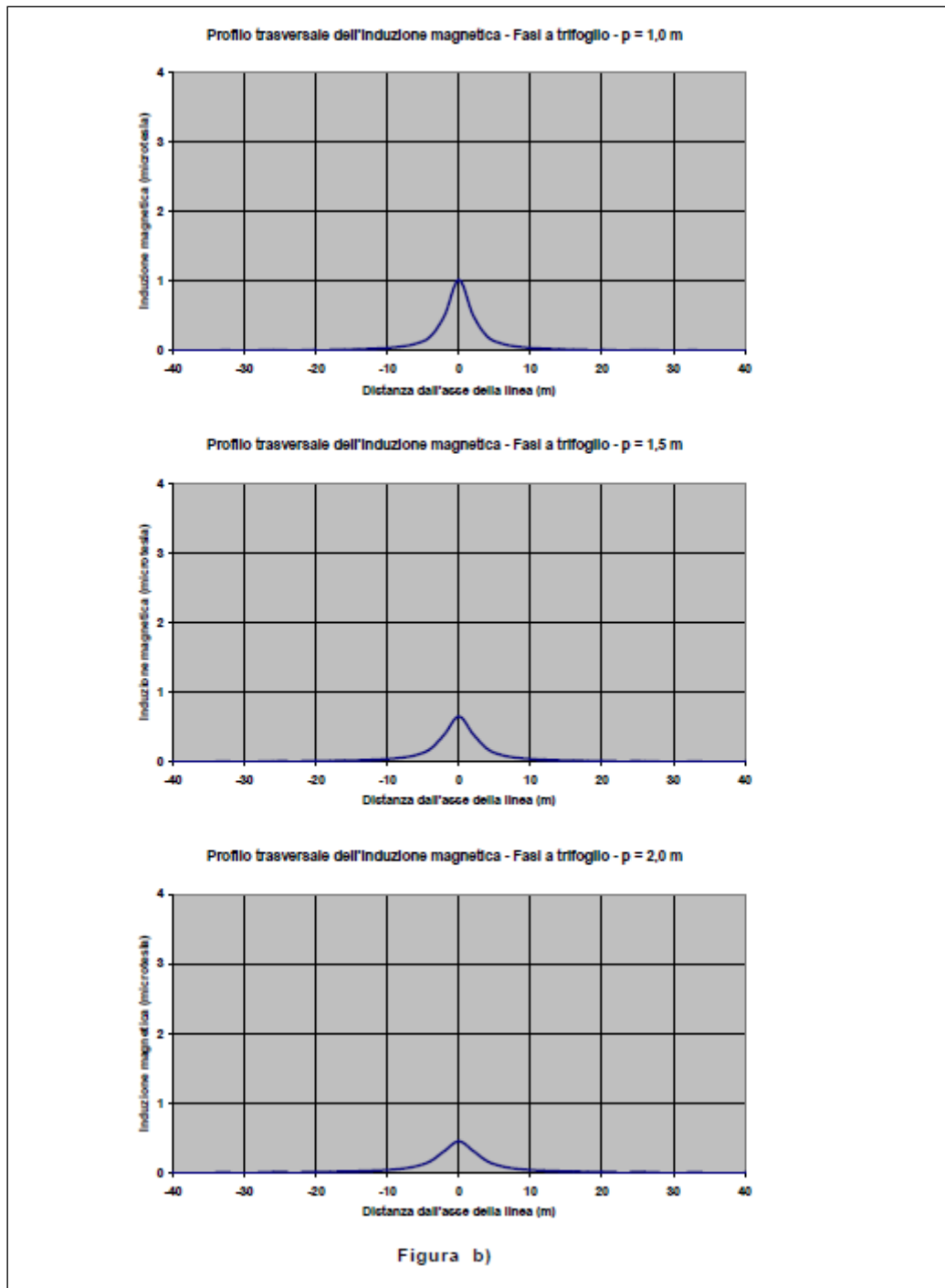


Figura 16: andamento del Campo Induzione Magnetica generata a livello del suolo sulla verticale del cavo – linea trifase con conduttori distanziati di 0,50 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio; corrente di ogni fase pari a 200 A.

Analizzando i grafici sopra rappresentati, si nota che l'intensità del campo magnetico generato decresce rapidamente con la distanza e che l'incremento della profondità di posa e l'avvicinamento delle fasi e la loro disposizione a trifoglio, a parità di altre condizioni, attenua il campo.

**Al contrario, nel caso di linea in doppia terna, a parità di profondità di posa, la configurazione con le fasi disposte in piano e a contatto è, in genere, migliore di quella a trifoglio, se le fasi delle due terne sono disposte in maniera ottimale, soprattutto per quanto riguarda i valori di induzione**

magnetica ad una certa distanza dall'asse della linea. Inoltre, in questi casi, anche la distanza tra le due terne rappresenta un fattore importante ai fini della mitigazione del campo magnetico. I risultati di calcolo riportati nella figura seguente, tratta dalla Norma CEI 106-11, illustrano tali affermazioni ed evidenziano come, nel caso della posa a trifoglio, i valori dell'induzione magnetica diminuiscano all'aumentare della distanza tra le due terne, mentre con la posa in piano si verifici esattamente l'opposto.

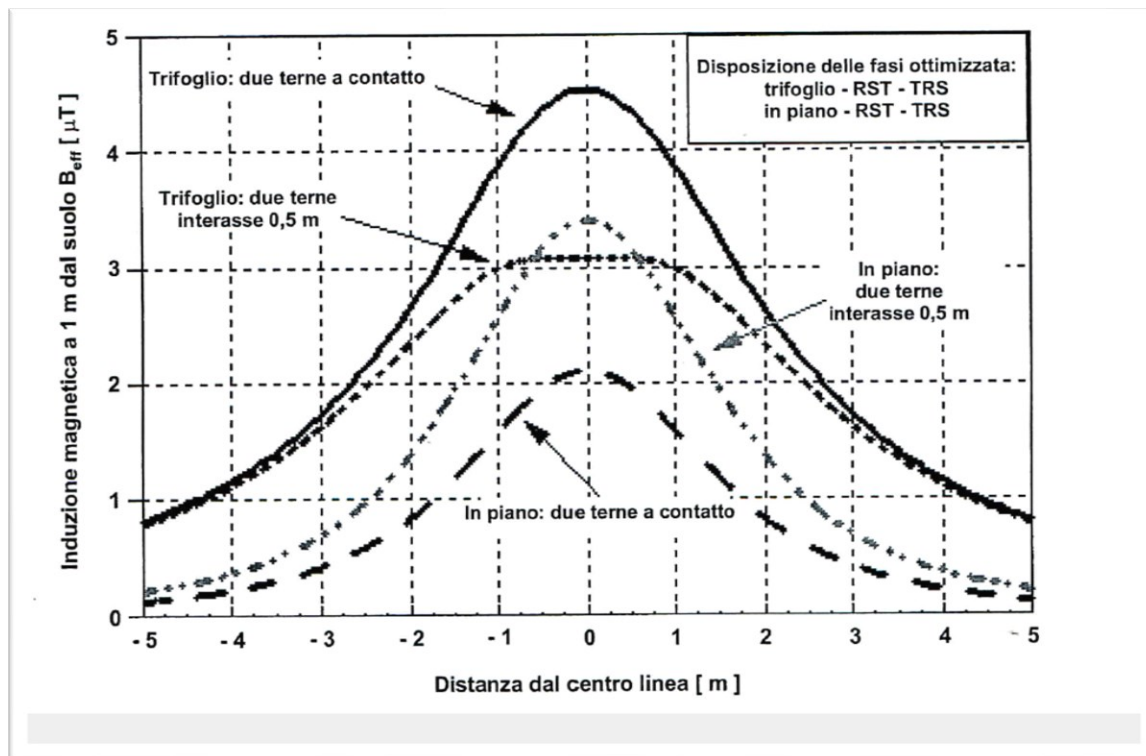


Figura 17: Confronto tra i profili laterali dell'induzione magnetica a 1 m da terra di due terne poste rispettivamente a trifoglio e in piano a contatto,  $I=1000$ ; profondità di posa= 1,2 m; diametro cavi 100 mm

L'esempio riportato sopra dimostra inoltre come, nel caso dei cavi disposti in doppia terna, le combinazioni dei parametri geometrici ed elettrici che entrano in gioco nella determinazione della distribuzione del campo magnetico siano in pratica più numerose e/o maggiormente modificabili di quelle precedentemente individuate per tipiche linee elettriche aeree. Infatti, come è facilmente intuibile, esiste una maggior libertà nella scelta della geometria di posa delle due terne e nella disposizione delle fasi dei cavi.

***In fase di progettazione definitiva, per la realizzazione degli elettrodotti di media tensione si è scelto di utilizzare cavi unipolari RG7HIRFR adatti per posa interrata:***

# RG7H1RFR EPRO-SETTE™



Unipolare da 1,8/3 kV a 26/45 kV  
Single core from 1,8/3 kV to 26/45 kV

Norma di riferimento  
CEI 20-13 (IEC 60840 per 26/45 kV)

Standard  
CEI 20-13 (IEC 60840 for 26/45 kV)

**Descrizione del cavo**

**Cable design**

**Anima**

**Core**

Conduttore a corda a fili di rame in accordo alla norma CEI 20-29, classe 2

Conductor: annealed stranded copper wires, according to IEC 60228, class 2

**Semiconduttivo interno**

**Inner semi-conducting layer**

Elastomerico estruso (solo per cavi con tensione ≥ 3,6/6 kV)

Extruded elastomeric compound (only for rated voltage ≥ 3,6/6 kV)

**Isolante**

**Insulation**

Miscela di gomma ad alto modulo G7

High module rubber compound, G7 type

**Semiconduttivo esterno**

**Outer semi-conducting layer**

Elastomerico estruso (solo per cavi con tensione ≥ 3,6/6 kV) pelabile a freddo

Extruded cold strippable elastomeric compound (only for rated voltage ≥ 3,6/6 kV)

**Schermo metallico**

**Metallic screen**

Fili di rame e nastro equalizzatore di rame

Copper tapes

**Gualina di separazione**

**Separation sheath**

Miscela PVC

PVC compound

**Armatura**

**Armour**

Fili di alluminio

Aluminium wires

**Gualina esterna**

**Over sheath**

Miscela PVC, colore rosso

PVC compound, red colour

**Marcatura**

**Marking**

PRYSMIAN (\*) RG7H1RFR <tensione> <sezione> <anno>

PRYSMIAN (\*) RG7H1RFR <rated voltage> <cross-section> <year>

(\*) Sito produttivo

(\*) Plant of production

Marcatura in rilievo ogni metro

Embossed marking each meter

Marcatura metrica progressiva ad inchiostro

Meter marking by ink

**Applicazioni**

**Applications**

I cavi possono essere forniti con caratteristiche di:  
- non propagazione dell'incendio e ridotta emissione di sostanze corrosive  
- ridottissima emissione di fumi opachi e gas tossici e assenza di gas corrosivi (AFUMEX).

Cables can be supplied with the following characteristics:  
- fire retardant and with low emission of corrosive substances  
- low emission of opaque smoke and toxic gases and without corrosive gases (AFUMEX).



**Condizioni di posa / Laying conditions**



Figura 18: cavi RG7H1RFR adatti per posa interrata

Per limitare il valore dell'induzione magnetica generata a livello del suolo sulla verticale del cavo nelle condizioni limite di portata, si è scelto di adottare la disposizione delle *fasi a trifoglio* con una profondità di posa non inferiore a 1,20 m.



Applicando la metodologia di calcolo prevista dalla Norma CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”, è stata calcolata l’induzione magnetica generata dalle linee durante l’esercizio.

Si tratta di un modello di calcolo di tipo bidimensionale che applica la legge di Biot e Savart per determinare l’induzione magnetica dovuta a ciascun conduttore percorso da corrente e quindi il principio di sovrapposizione degli effetti per determinare l’induzione magnetica totale, tenendo ovviamente conto delle fasi delle correnti, supposte simmetriche ed equilibrate.

Per l’applicazione del modello, sono state assunte le seguenti schematizzazioni della linea:

- tutti i conduttori sono stati considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra loro;
- le correnti sono state considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori;
- non sono state considerate le correnti indotte negli schermi;
- il terreno è stato considerato perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e quindi sono state trascurate le immagini dei conduttori rispetto al suolo.

I risultati ottenuti vengono mostrati nelle figure seguenti:

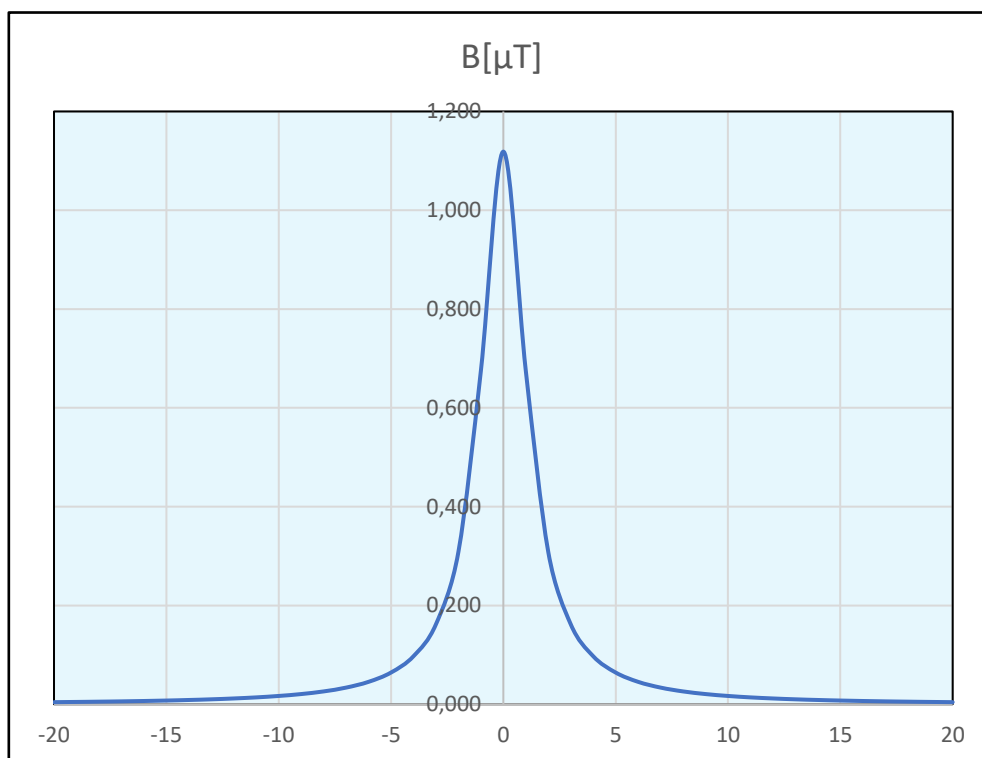


Figura 19: Induzione magnetica generata durante l'esercizio dalla linea 36 kV n° 1 da 185 mm<sup>2</sup>; fasi disposte a trifoglio, I = 121 A circa, profondità di posa 1,20 m

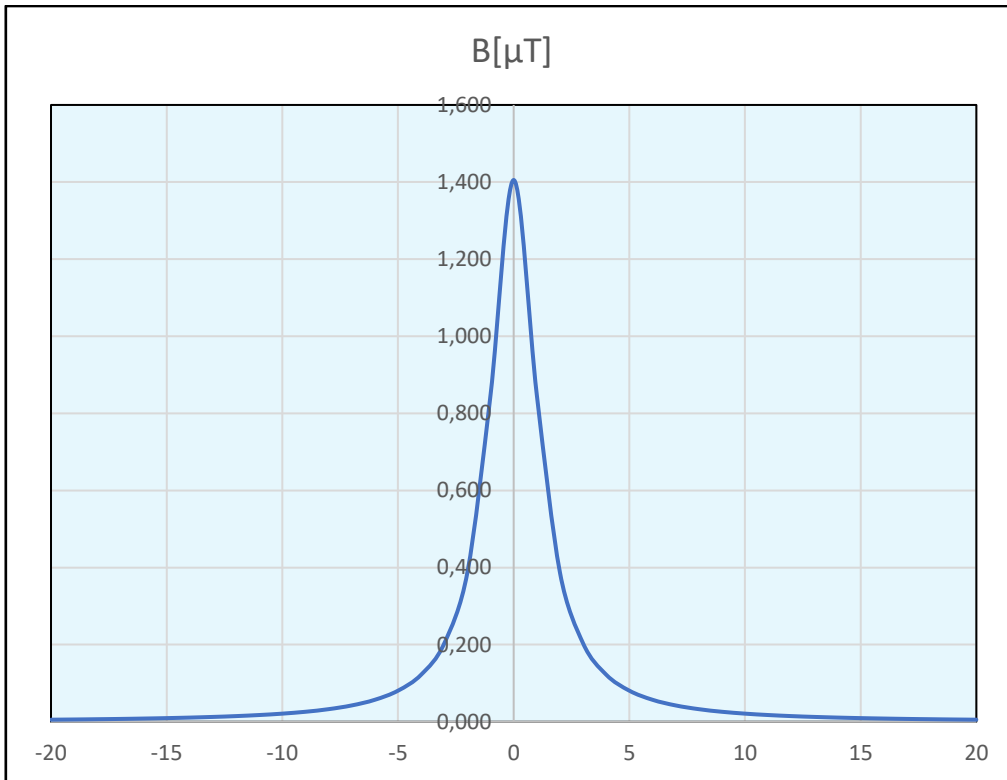


Figura 20: Induzione magnetica generata durante l'esercizio dalla linea 36 kV n° 2 da 185 mm<sup>2</sup>; fasi disposte a trifoglio,  $I = 152$  A circa, profondità di posa 1,20 m.

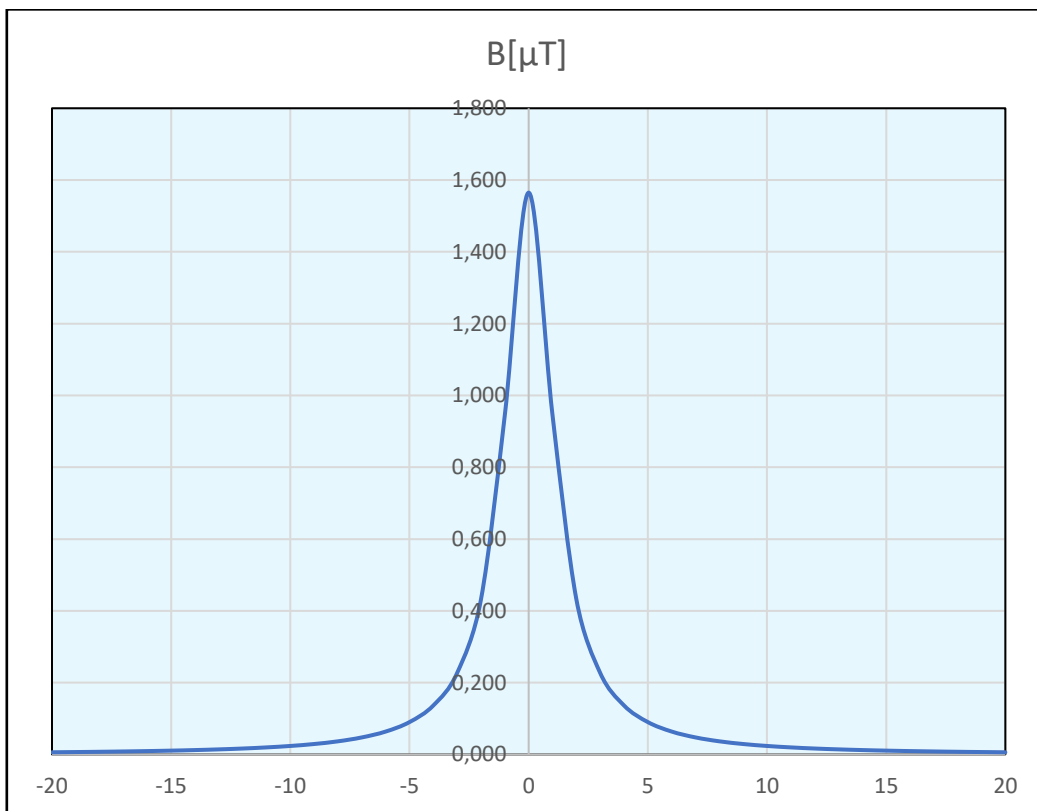


Figura 21: Induzione magnetica generata durante l'esercizio dalla linea 36 kV n° 3 da 240 mm<sup>2</sup>; fasi disposte a trifoglio,  $I = 161$  A circa, profondità di posa 1,20 m.

L'analisi dei grafici sopra rappresentati, mostra che le linee generano, durante l'esercizio, a livello del suolo sulla verticale del cavo, un valore di induzione magnetica inferiore all'obiettivo di qualità di  $3\mu\text{T}$  fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003. Ciò nonostante, a lavori ultimati, verranno eseguite delle misure sul campo per verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti e, laddove i valori dovessero risultare superiori ai limiti di legge, verranno adottate adeguate misure di mitigazione.

### 3.4 Dorsale a 36 kV di collegamento con la Sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione denominata Troia

Come riscontrabile dallo schema elettrico unifilare, l'impianto di produzione verrà collegato in antenna con la futura sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione 380/150/36 kV denominata "Vizzini", a mezzo di una dorsale in cavo interrato RG7H1RFR in formazione  $3 \times (1 \times 630) \text{ mm}^2$ .

Dato che la dorsale si sviluppa all'esterno dell'area di impianto, al fine di ridurre l'entità del campo generato durante l'esercizio a livello del suolo sulla verticale del cavo, è stata considerata una profondità di posa pari a 1,40 m:

PARTICOLARE DI POSA DI UNA DORSALE A 36 kV IN USCITA DALLA CABINA DI RACCOLTA SU STRADA PUBBLICA

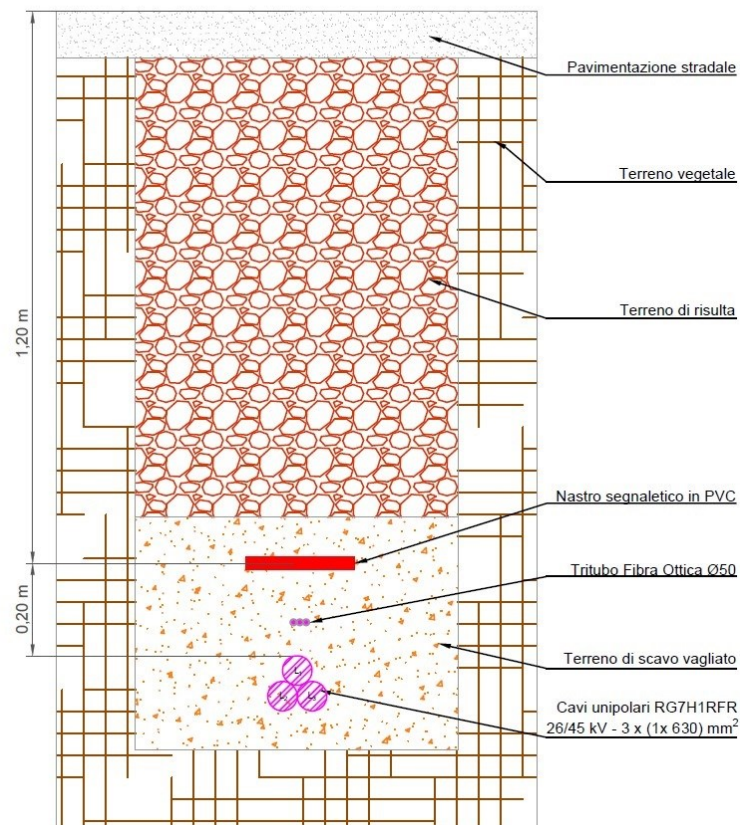


Figura 22: particolare di posa dorsale 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica Terna

Applicando la metodologia di calcolo prevista dalla Norma CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”, è stata calcolata l’induzione magnetica generata durante l’esercizio, ottenendo il risultato rappresentato in figura 22:

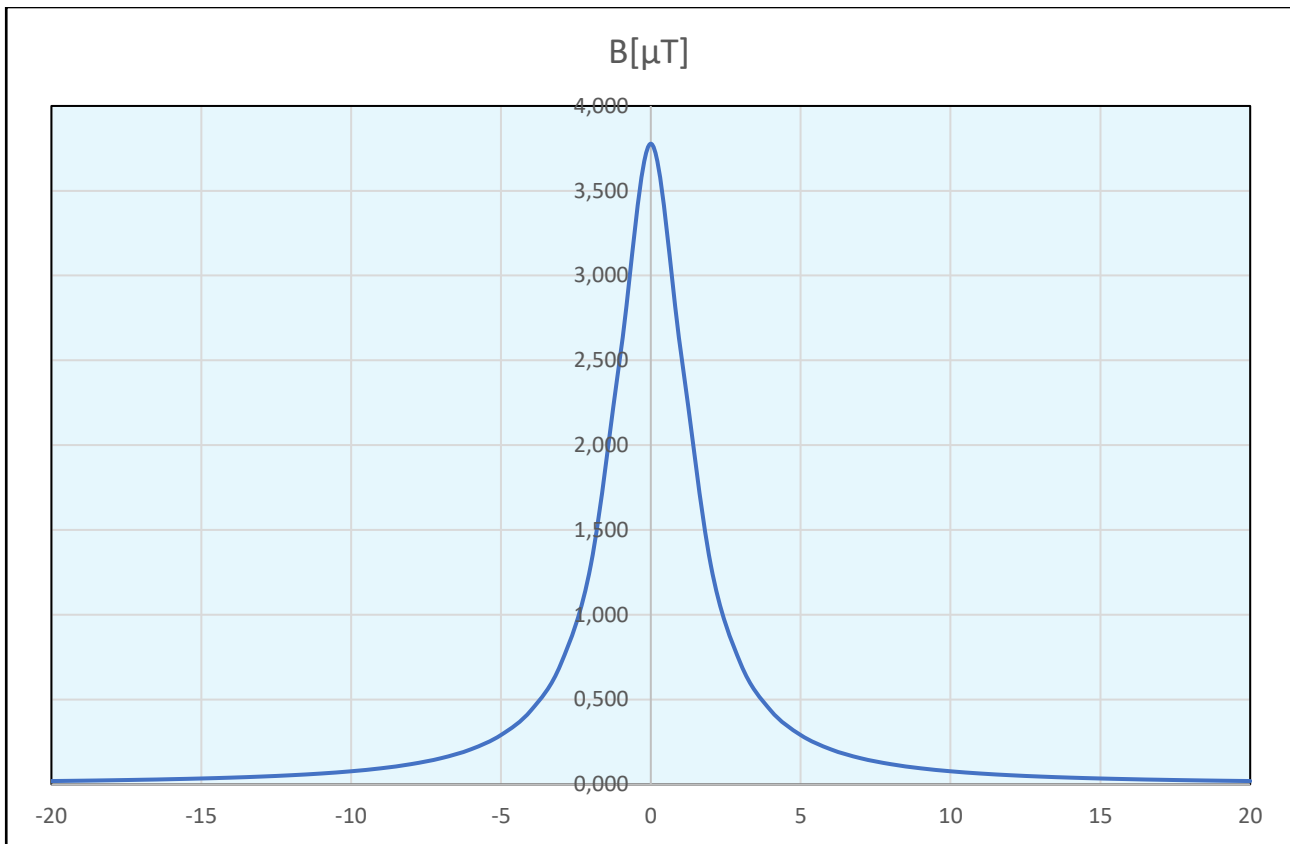


Figura 23: Induzione magnetica generata durante l'esercizio dalla dorsale 36 kV da 630 mm<sup>2</sup> di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione Terna;  $I = 425$  A circa, profondità di posa 1,40 m

L’analisi del grafico sopra rappresentato, mostra che la dorsale a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica Terna genera, durante l’esercizio, a livello del suolo sulla verticale del cavo, un valore di induzione magnetica superiore all’obiettivo di qualità di  $3\mu\text{T}$  fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003. Tuttavia, bisogna considerare che essa si sviluppa in un sito dove non è prevista la permanenza di persone per un tempo superiore a 4 ore giornaliere. Ciò nonostante, in fase di progettazione esecutiva si potranno adottare provvedimenti di mitigazione del campo magnetico, ad esempio l’utilizzo di schermi ferromagnetici opportunamente dimensionati.

## 4. Conclusioni

Alla luce dei calcoli eseguiti, non si riscontrano particolari problematiche relative all'impatto elettromagnetico generato dalle infrastrutture elettriche costituenti l'impianto di produzione, infatti:

- i moduli fotovoltaici non generano campi variabili nel tempo, di conseguenza non sono applicabili le prescrizioni del D.P.C.M. 8 luglio 2003;
- le DPA delle cabine di conversione e trasformazione rientrano nei confini di pertinenza dell'impianto fotovoltaico;
- l'induzione magnetica generata dalle linee a 36 kV interne al campo risulta inferiore all'obiettivo di qualità di  $3\mu\text{T}$  fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003;
- l'induzione magnetica generata dalla dorsale a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica Terna, risulta superiore all'obiettivo di qualità, ma lungo il tracciato non è prevista la permanenza di persone per un tempo superiore a 4 ore giornaliere. In fase di progettazione esecutiva si potranno adottare interventi di mitigazione quali, ad esempio, l'utilizzo di schermi ferromagnetici opportunamente dimensionati.

Ciò nonostante, a lavori ultimati si potranno eseguire delle prove in sito che dimostrino l'esattezza dei calcoli e delle assunzioni fatte ed adottare opportuni interventi di mitigazione qualora i livelli di emissione dovessero risultare superiori agli obiettivi di qualità fissati dal D.P.C.M. 8 luglio 2003.